

УДК 621.455.4

Автоматизированная система диагностики параметров выходного пучка радиочастотного ионного двигателя

Кожевников В.В.¹, Смирнов А.А.¹, Смирнов П.Е.¹, Черный И.А.²

¹ *Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), МАИ, Волоколамское шоссе, 4, Москва, А-80, ГСП-3, 125993, Россия*

² *Всероссийский научно-исследовательский институт автоматики имени Н.Л. Духова (ФГУП ВНИИА), Суцневская ул., 22, Москва, 127055, Россия*

e-mail: k208@mai.ru

Аннотация

Одним из направлений исследований работы электроракетных двигателей и в частности радиочастотных ионных двигателей является анализ параметров выходного пучка. Для этой цели была разработана автоматизированная система диагностики, включающая в себя: датчики для определения локальных параметров плазмы в пучке; трехкоординатный механизм перемещения зондов; программно-аппаратный блок управления координатным механизмом, а также сбором и первичной обработкой экспериментальной информации. В данной системе для определения тока заряженных частиц в пучке, построения профиля ионного пучка, его угловой расходимости и соответствующих потерь тяги используется зонд Фарадея. Для определения энергии ионов пучка, позволяющей, с учетом известных концентраций заряженных частиц разных типов, определить потери тяги, используется многосеточный энергоанализатор. Для определения заряда ионов

разработан EхВ зонд, обеспечивающий пространственное разделение заряженных частиц в скрещенных электрическом и магнитном полях. Оценка распределения электрических полей в пучке производится с помощью накаливаемого зонда. Данная система была создана в лаборатории кафедры «Электроракетные двигатели, энергетические и энергофизические установки» Московского авиационного института.

Ключевые слова: высокочастотный ионный двигатель, система диагностики параметров пучка, зонды.

Введение

Электроракетные двигатели (ЭРД) все чаще применяются для исследования Земли и космоса. Наибольшее применение они нашли в системах управления телекоммуникационными космическими летательными аппаратами (КЛА). Преимуществом ЭРД перед другими типами двигателей для КЛА является уменьшение массы топлива, требуемого для двигательной установки (ДУ) и, соответственно, при той же массе аппарата повышение доли полезной нагрузки. Среди современных ЭРД одним из перспективных является ионный двигатель (ИД), в том числе его разновидность, высокочастотный (радиочастотный) ионный двигатель (ВЧИД). При разработке новых конструкций ВЧИД важным требованием является уменьшение эффективного угла расходимости струи ионов, покидающей двигатель, чтобы уменьшить воздействие высокоэнергетических частиц пучка на конструктивные элементы КЛА.

При отработке ЭРД проводят комплекс их испытаний в вакуумных камерах на Земле. Однако условия, создаваемые при испытаниях, существенно отличаются от условий работы двигателей в космическом пространстве. Это касается химического состава окружающей газовой среды, температуры, плотности, уровня разрежения. Поскольку конечная цель таких испытаний – определение рабочих характеристик ЭРД, то особое внимание уделяется методам и средствам измерений, позволяющим уменьшить несоответствие условий испытаний в вакуумных камерах реальным условиям эксплуатации двигателей. В статье приведено описание системы для автоматизированного исследования струи ЭРД в вакуумной камере.

Для исследования пространственного распределения пучка ВЧИД в вакуумной камере были сформулированы следующие задачи:

задача получения профиля распределения ионного тока в различных сечениях вдоль оси распространения пучка;

задача нахождения средней энергии ионов в пучке;

задача анализа доли двухзарядных ионов рабочего тела (РТ);

задача получения смещения электрического потенциала ионного пучка относительно стенок вакуумной камеры.

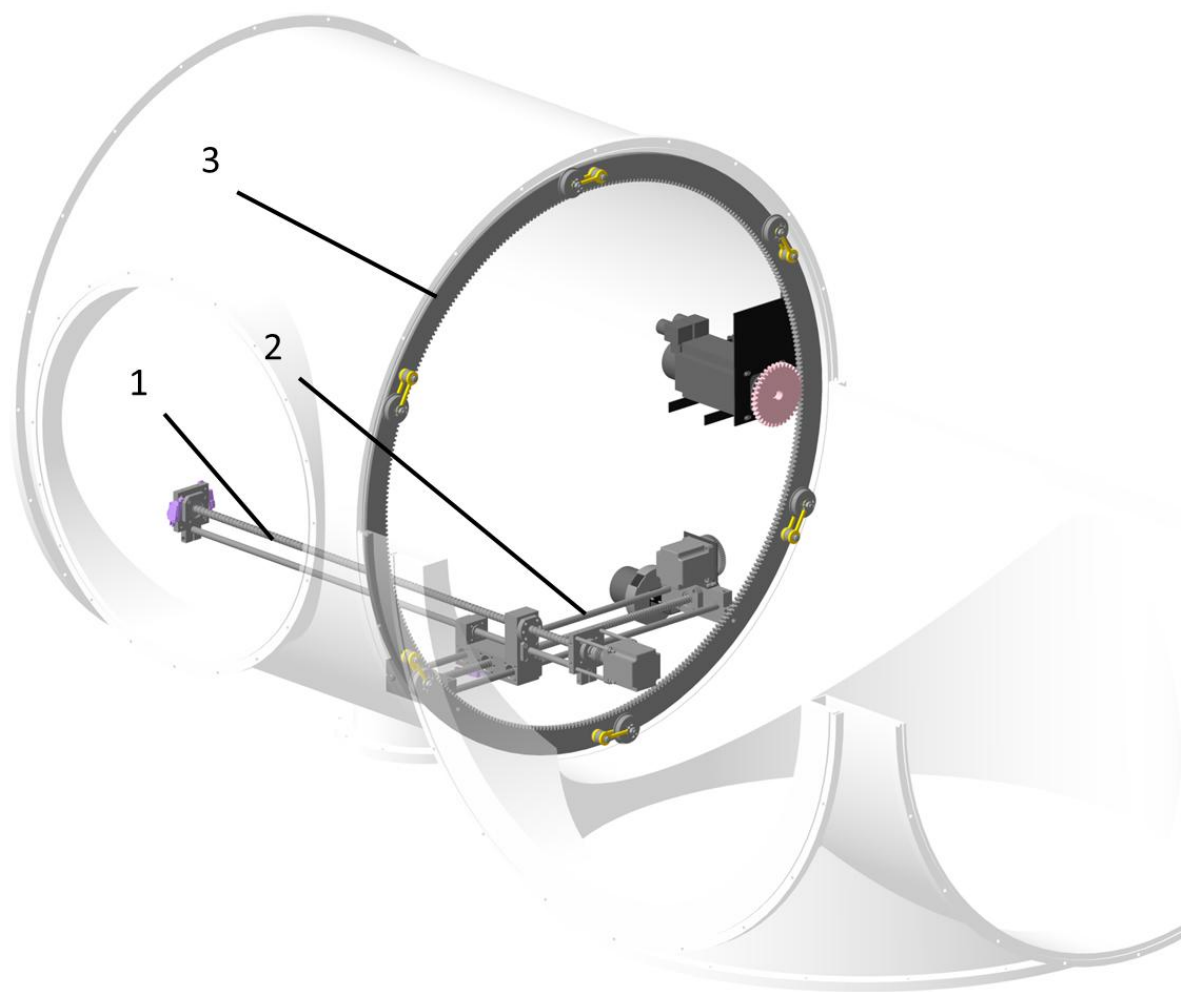
Для решения этих исследовательских задач было предложено использовать следующие существующие типы датчиков: плоский зонд с охранным кольцом (известный также как зонд Фарадея), многосеточный энергоанализатор, накальный зонд. Их конструкция была доработана с учетом особенностей струи ионов ВЧИД.

Также для анализа зарядового состава пучка ионов был разработан EхВ-зонд (известный также как фильтр Вина).

Испытательное оборудование

Для исследования ВЧИД мощностью до 4 кВт в условиях «безмасляного вакуума» на кафедре «Электроракетные двигатели, энергетические и энергофизические установки» МАИ был реконструирован испытательный стенд 2ИУ2В. Объем вакуумной камеры стенда составляет 3 м³ (диаметр камеры 900 мм). Динамический вакуум при работе двигателя составляет ~10⁻³ Па.

Для позиционирования зондов в объеме данной вакуумной камеры был разработан и изготовлен при участии авторов трехкоординатный механизм перемещения, обеспечивающий исследование пучка ВЧИД непрерывным сканирующим методом. Конструкция этого механизма приведена на рисунке 1.



1 – узел продольного перемещения (ход 970 мм); 2 – узел поперечного перемещения (ход 480 мм); 3 – узел углового перемещения (ход 350°).

Рисунок 1. Конструкция трехкоординатного механизма перемещения зондов

Для продольного и поперечного перемещения в данном механизме применяются шарико-винтовые передачи (ШВП), приводимые в движение шаговыми двигателями Purelogic PL57H56-2.6. Для углового перемещения применяется зубчатая передача внутреннего зацепления, ведущее колесо которой крепится к валу серводвигателя Rexroth MSK040B. Каждый двигатель через индивидуальный источник питания подключаются к электросети и через индивидуальный контроллер к компьютеру. Для подключения всех контроллеров к

компьютеру используется аппаратная вычислительная платформа Arduino Mega 2560 и программа, написанная в среде разработки LabVIEW. Для контроля оборотов ШВП, а, следовательно, и положения зонда, используются щелевые датчики компании Purelogic RnD, которые также подключаются к компьютеру через платформу Arduino Mega 2560.

Описание измерительных средств

Плоский зонд

Для исследования пространственного распределения ионов в пучке и получения профиля распределения ионного тока в различных сечениях вдоль оси распространения пучка применяется плоский зонд. В конструкции данного зонда присутствует диафрагмирующий электрод, на котором осуществляется разрыв плазмы [1]; для отсечения потока электронов на коллектор плоского зонда подается отрицательный потенциал 30 В. Основной погрешностью измерений ионного тока в струе двигателя является трудность вычленения из регистрируемого сигнала доли тока, вносимого вторичными ионами. Наличие диафрагмирующего электрода, на котором можно задавать различные потенциалы, позволяет значительно уменьшить собирающую поверхность зонда. В работе [2] проанализированы различные варианты задания потенциала и возможность повышения точности при использовании диафрагмирующего электрода. Результаты исследований в МАИ показали, что можно использовать открытый зонд с диафрагмирующим электродом,

находящимся под потенциалом плазмы. На рисунке 2 приведена конструкция плоского зонда с охранным кольцом.

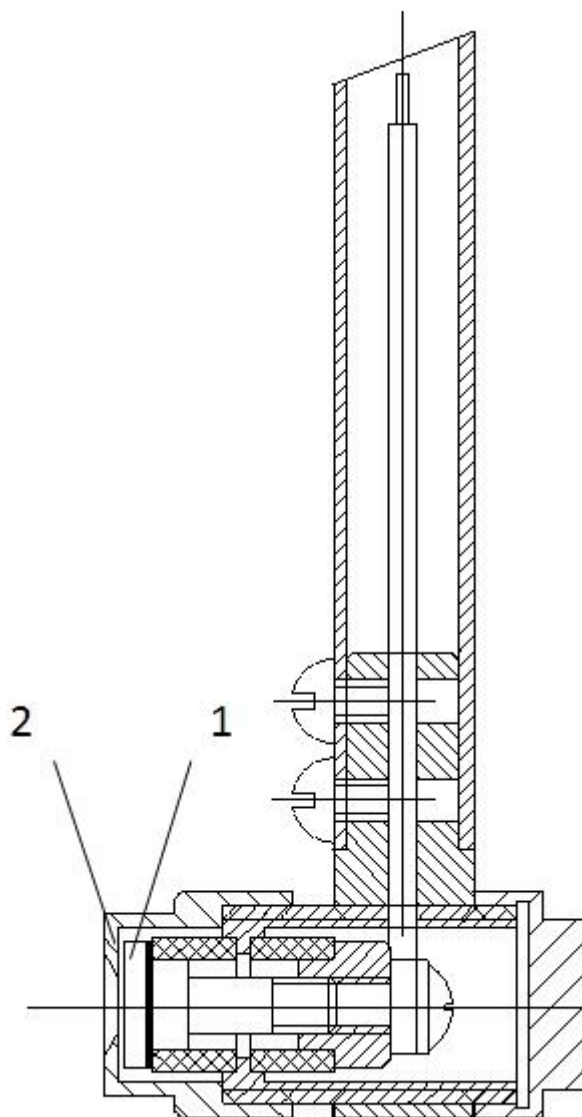


Рисунок 2. Конструкция плоского зонда

В корпусе на изоляторах закреплена собирающая поверхность (поз. 1) плоского зонда; собирающая поверхность закрыта диафрагмирующим электродом (поз. 2), имеющим проходной диаметр 4 мм. Эффективная площадь зонда составляет $12,6 \text{ мм}^2$. По результатам измерений строится эпюра распределения ионного тока пучка по углу отклонения зонда.

Многосеточный энергоанализатор

Для получения средней энергии ионов в пучке используется многосеточный энергоанализатор. На основе опыта проведения измерений в струях ЭРД [3, 4] для экспериментов в пучке ВЧИД была использована схема энергоанализатора (рисунок 3) с тремя сетками (экранирующей (поз. 1), отсечной (поз. 2) и анализирующей (поз. 3)) и коллектором (поз. 4).

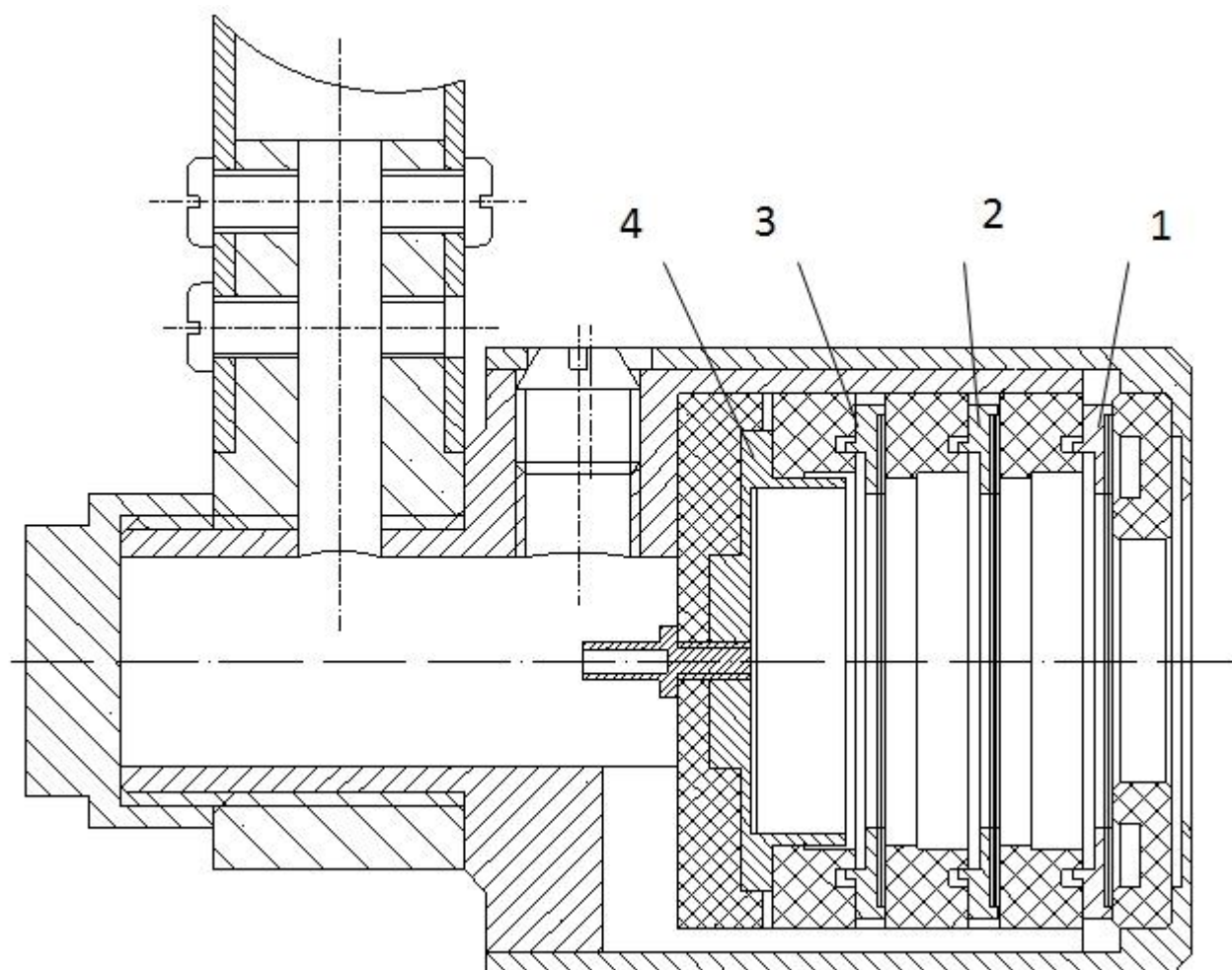


Рисунок 3. Конструкция энергоанализатора

Пучок квазинейтральной плазмы ВЧИД попадает во входное отверстие, проходит экранирующую сетку, которая находится под потенциалом земли и служит для уменьшения влияния потенциалов электродов датчика на окружающую

плазму. На отсечной сетке задается отрицательный потенциал для торможения и разворота электронов пучка. На анализирующей сетке создается задерживающее напряжение пилообразной формы (5...1000 В с периодом 200 ± 10 мс), происходит торможение ионов, при этом только ионы с энергией выше задерживающего потенциала проходят сквозь ячейки анализирующей сетки и попадают на коллектор.

Данная схема отличается от традиционной, в которой задерживающий потенциал подается на коллектор [5]. Однако при использовании анализирующей сетки удается избежать влияния ион-электронной эмиссии на коллекторе и связанной с этим необходимости установки антидинаatronной сетки. Тем самым повышается суммарная прозрачность датчика и, соответственно, уровень сигнала. Суммарная прозрачность сеток в используемом зонде составляет: 0,163988. Расстояния между сетками 4 мм, расстояние от анализирующей сетки до коллектора 1 мм. Оценки показывают, что за месяц непрерывного позиционирования в ядре потока ионов износ проволок сетки из-за катодного распыления составит 70...78 %.

ЕхВ зонд

Создание многозарядных ионов ведет к снижению эффективности двигателя, коэффициента использования РТ и ухудшению параметров тяги [6]. Из-за особенностей рабочего процесса в газоразрядной камере ВЧИД теоретически в пучке ожидается малая доля двухзарядных ионов (менее 1%) [7]. Поскольку многосеточный энергоанализатор не разделяет однозарядные и двухзарядные ионы при их регистрации.

В рамках исследования плазмы пучка ВЧИД предлагается использование диагностики струи ЕхВ зондом (фильтром Вина) для получения спектра ионов и определения доли многозарядных ионов РТ. Измерение распределения каждого типа ионов РТ в струе двигателя позволяет учесть снижение тяги и более точно оценить эрозию распыляющихся элементов двигателя [8]; для ВЧИД этим элементом является ускоряющий электрод ионно-оптической системы.

Принцип метода исследования пучка ионов ЕхВ зондом основан на изменении траектории ионов в скрещенных электрическом и магнитном полях и измерении тока не отклонившихся в поле частиц. Ортогонально расположенные электрическое и магнитное поле перпендикулярны потоку влетающих в зонд частиц; изменение траектории частиц происходит под воздействием силы Лоренца, при этом осуществляется разделение ионов разных скоростей. Сила Лоренца, действующая на пучок:

$$\vec{F} = eZ(\vec{E} + [\vec{V} \times \vec{B}]), \quad (1)$$

где $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл – элементарный электрический заряд; Z – значение заряда пролетающей зонд частицы; \vec{E} , В/м – напряженность анализирующего электрического поля; \vec{V} , м/с – скорость пролетающей зонд частицы; \vec{B} , Тл – индукция магнитного поля на оси зонда.

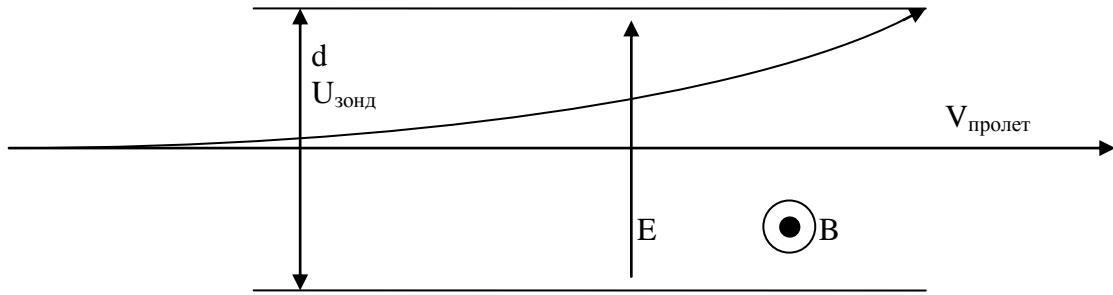


Рисунок 4. Схема движения иона в E×B зонде

Траектория движения частиц в фильтрующем отсеке E×B зонда представлена на рисунке 4. Между электродами создается электрическое поле E, перпендикулярно ему существует магнитное поле B. Скорость пропускаемых E×B зондом частиц $V_{\text{пролет}}$ определяется следующим соотношением [9]:

$$V_{\text{пролет}} = \frac{E}{B} = \frac{U_{\text{зонд}}}{B \cdot d}, \quad (2)$$

где d , м – расстояние между электродами; $U_{\text{зонд}}$, В – приложенное к электродам анализирующее напряжение.

В E×B зонде величины B и d являются постоянными, а значение E подбирается в соответствии с соотношением (2). Скорость иона в струе ионного двигателя зависит от его заряда q , напряжения эмиссионного электрода U_+ и массы иона M_i :

$$V_i = \sqrt{\frac{2 \cdot q \cdot e \cdot U_+}{M_i}}. \quad (3)$$

При подстановке выражения (3) в уравнение (2) можно получить соотношение для эффективного ускоряющего потенциала каждого типа иона [10]:

$$U_{\text{зонд},i} = \sqrt{\frac{2 \cdot q \cdot e \cdot U_+}{M_i}} \cdot (B \cdot d). \quad (4)$$

Для однозарядных и двухзарядных ионов эта величина отличается на несколько десятков Вольт [8, 11]. Пролетающие навывлет частицы собираются коллектором. В результате измерений получается график зависимости тока частиц, собранного коллектором, от напряжения. В этой вольт-амперной характеристике (ВАХ) группы частиц с разными зарядами проявляются как максимумы тока. Пример получаемой характеристики, приведен на рисунке 5.

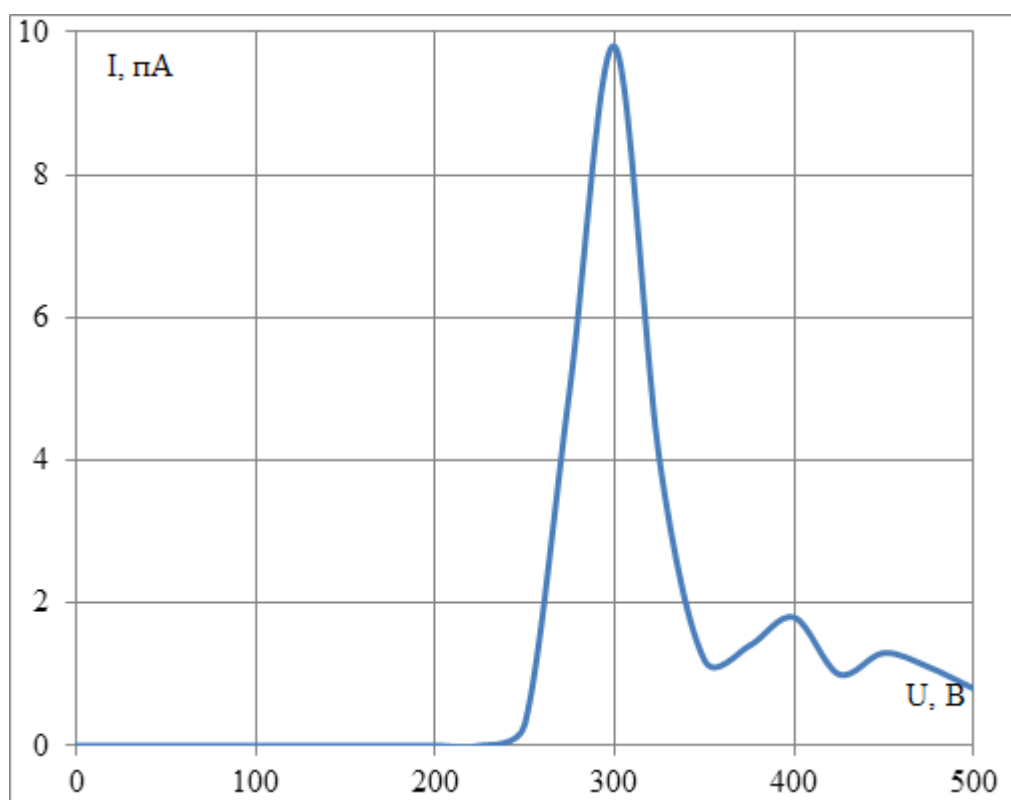


Рисунок 5. Вольт-амперная характеристика EхВ зонда

Самый высокий экстремум соответствует однозарядным ионам, следующий по высоте — двухзарядным, последующие экстремумы трех- и более зарядным ионам. На рисунке 6 приведена конструктивная схема разработанного зонда.

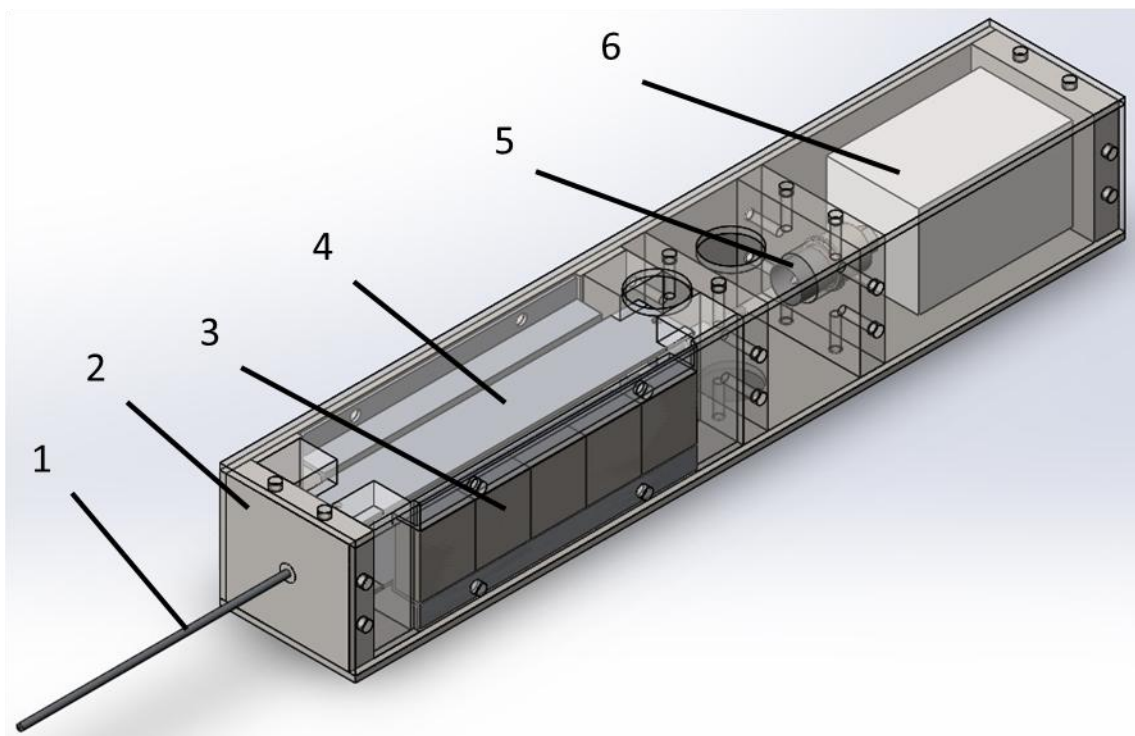


Рисунок 6. Конструктивная схема фильтра Вина

Ионный поток входит через сменную трубку-коллиматор из тугоплавкого материала с малым коэффициентом катодного распыления (поз. 1) в фильтрующую секцию (поз. 2), корпус которой выполнен из углеродистой стали. Для создания магнитного поля служат сборки постоянных магнитов из сплава SmCo (поз. 3). Для создания электрического поля служат алюминиевые электроды (поз. 4), закрепленные в пазах диэлектрических держателей. Напряжение на электроды подается от источника питания в пределах 0...500 В. Пучок отклоняется скрещенными магнитным и электрическим полями в зависимости от энергии пролетающих частиц. Частицы, пролетающие фильтрующий участок не отклоняясь, собираются на молибденовом коллекторе (поз. 5), за которым следует блок усиления электрического сигнала коллектора (поз. 6). В корпусе предусмотрены закрываемые проволочными сетками отверстия, предназначенные для того, чтобы во внутренних

полостях зонда не образовывалась область повышенного давления, искажающая регистрируемые характеристики. Сигнал от усилителя и блока питания электродов регистрируется цифровым осциллографом.

В среде трехмерного моделирования электромагнитного поля Ansoft Maxwell было проанализировано магнитное поле фильтрующего участка зонда данной конструкции. Полученное распределение поля приведено на рисунке 7.

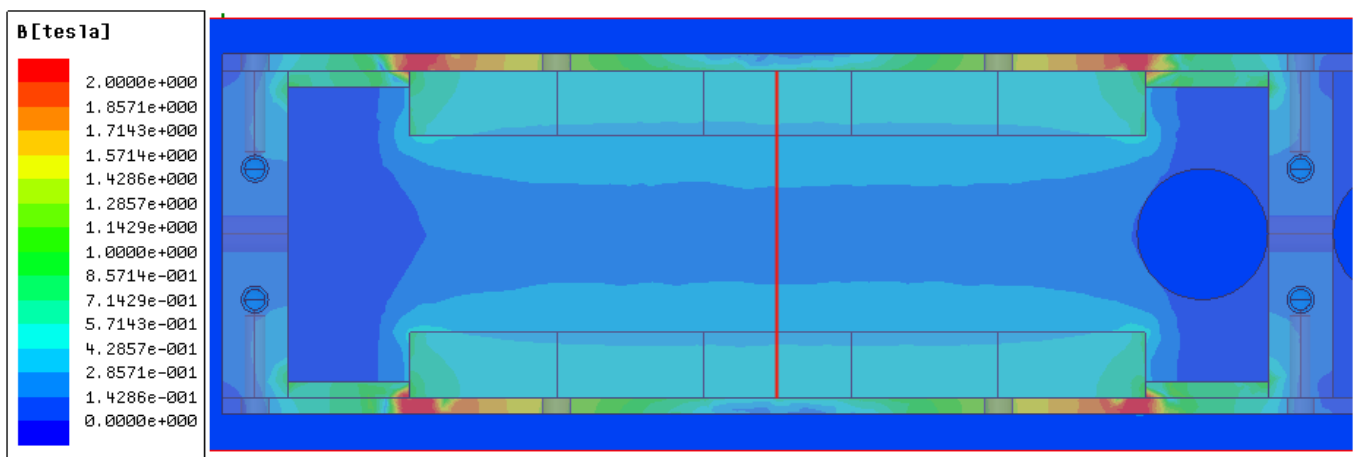


Рисунок 7. Распределение магнитного поля в ЕхВ зонде

График индукции магнитного поля в зависимости от координаты на красной линии (см. рисунок 7) показан на рисунке 8.

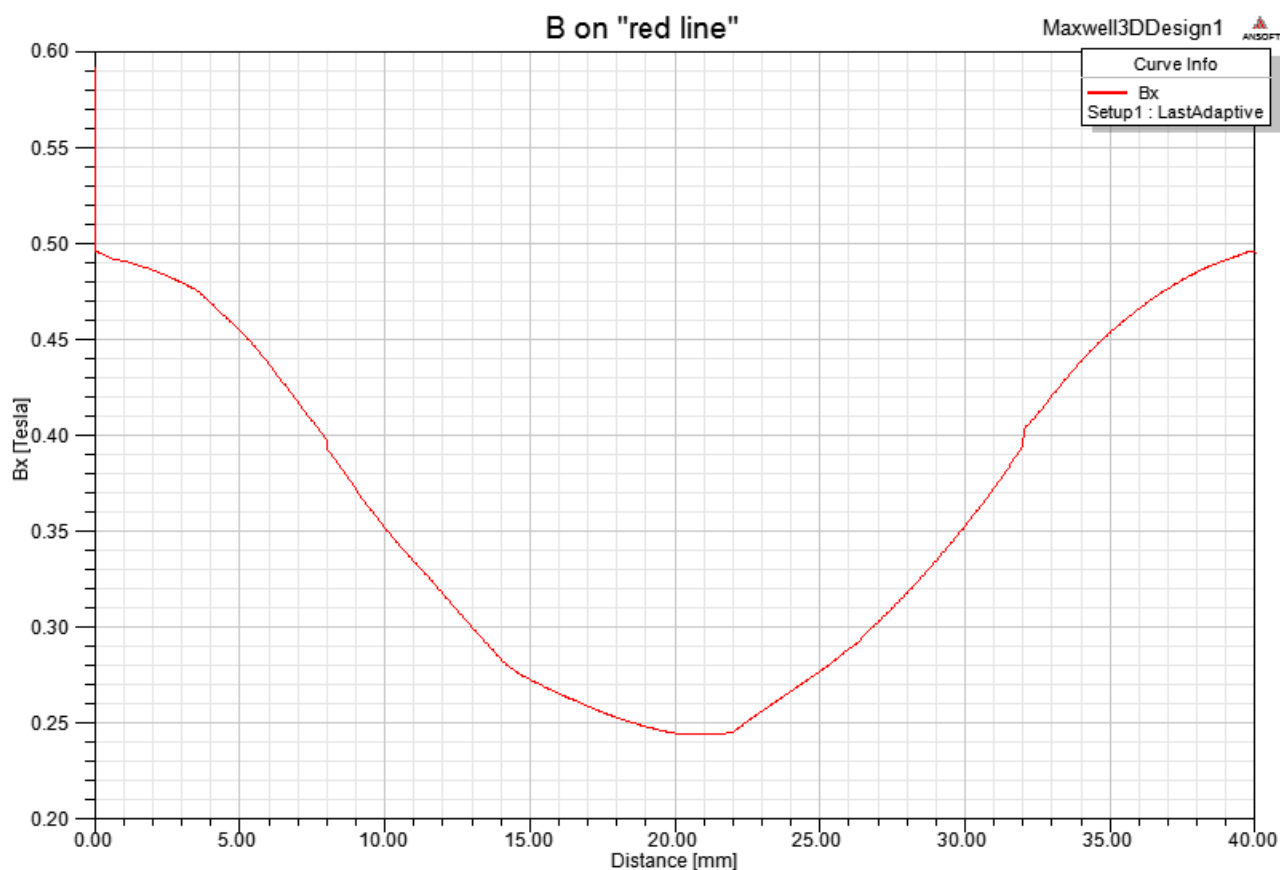


Рисунок 8. График индукции магнитного поля в центре фильтрующей секции EхВ зонда

Индукция магнитного поля по оси датчика составила $B = 0,25$ Тл. В соответствии с соотношением (4) для ионов ксенона максимум тока однозарядных ионов придется на $U_{\text{зонд, Xe}^+} \sim 300$ В, а максимум тока двухзарядных ионов – $U_{\text{зонд, Xe}^{++}} \sim 400$ В.

Применяемые SmCo постоянные магниты обладают устойчивостью параметров при температурах до 620 К и точкой Кюри более 1070 К. Чтобы избежать перегрева конструкции на трубку-коллиматор надевается экран из углерода, закрывающий корпус EхВ зонда от пучка ионов. В работе [12] показано, что в аналогичных экспериментальных условиях нагрев поверхности зонда за часы работы в пучке не превышает 370 К.

При расчете разрешения ЕхВ зонда полагается, что каждому типу ионов РТ соответствует строго один максимум уровня тока частиц. Из выражения (4) следует, что каждому из этих уровней соответствует определенное анализирующее напряжение. На получаемой зондовой характеристике (рисунок 9) существует симметричное уширение максимума на величину δ в каждую сторону. Величина ширины максимума $\Delta = 2 \cdot \delta$ позволяет оценить разрешение зонда.

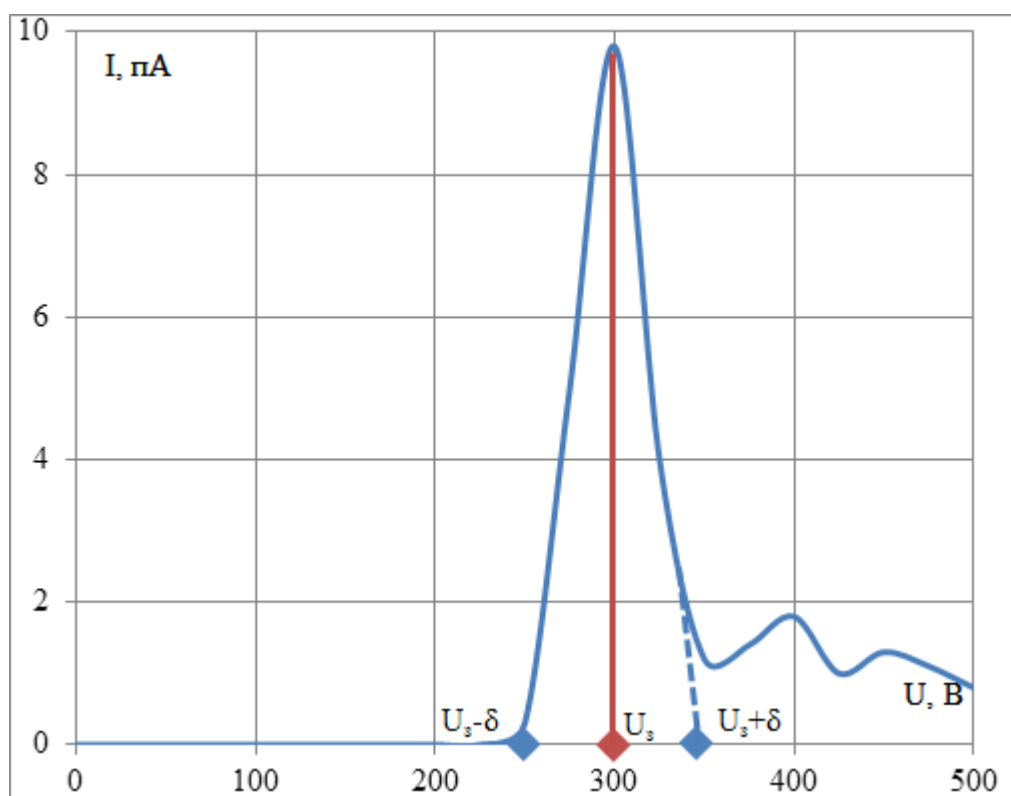


Рисунок 9. Уширение максимумов тока зондовой характеристики

При этом максимальное отклонение, δ , от максимума U_3 происходит, когда ион влетает в коллиматор под углом α , изменяет свою траекторию в фильтрующем отсеке и попадает на коллектор, отклоняясь на угол β . Схематично такая траектория полета иона в ЕхВ зонде показана синим на рисунке 10.

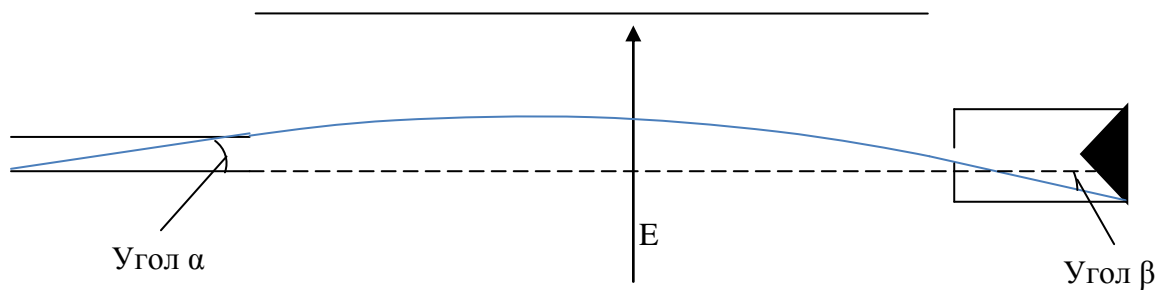


Рисунок 10. Траектория ионов, вносящих искажения в зондовую характеристику

Разрешение зонда можно оценить геометрически, подробная схема расчета приводится в работе [8]. Соотношение, характеризующее в процентах разрешение зонда относительно напряжения эмиссионного электрода ВЧИД:

$$R_{\text{ExB}} = \frac{\Delta}{U_+} \cdot 100. \quad (5)$$

В случае напряжения $U_+ = 2500 \text{ В}$, при использовании трубки-коллиматора длиной $0,1 \text{ м}$ и апертурой $0,0005 \text{ м}$, расчетное разрешение составит $\sim 1\%$ от величины ускоряющего напряжения. Разрешение можно варьировать опытным путем, изменяя геометрию коллиматора.

Для усиления сигнала, получаемого с коллектора ионного тока, была разработана схема, построенная на операционном усилителе. Схема изолирована от воздействия пучка ионов, от металлических элементов конструкции зонда, и располагается в отдельной секции ExB зонда за коллектором ионов. Усилитель позволяет производить подстройку нуля для собираемого ионного тока.

Накальный зонд

Для определения электрического потенциала пучка относительно стенок вакуумной камеры применяется накаливаемый зонд, рисунок 11.

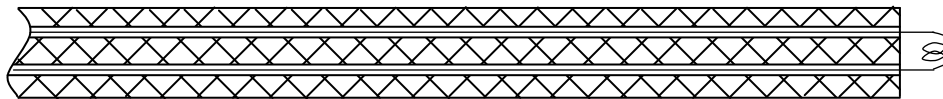


Рисунок 11. Конструкция накаливаемого зонда

Зонд изготавливается в виде накаливаемой спирали малого размера и представляет собой $\varnothing 1,5$ мм двухканальную алуновую трубку с 2 витками (диаметром 3 мм) спирали из 0,2 мм вольфрамовой проволоки. Регистрируются последовательно вольт-амперные характеристики без нагрева и с подогревом спирали до температуры заметной эмиссии. При сравнении эти характеристики теоретически должны совпасть при потенциале зонда выше потенциала пространства [5]. В условиях струи ВЧИД это не происходит в силу неопределенности собирающей поверхности зонда. Однако пересечение двух ВАХ однозначно будет происходить только при потенциале пространства. Неопределенность собирающей поверхности затрудняет регистрации токов насыщения, поэтому данный зонд мало используется в прикладных исследованиях. Действительно, из-за относительно большого размера зонда его сложно применять внутри газоразрядной камеры ВЧИД, где он будет однозначно вносить заметные возмущения параметров плазмы. Но в струе двигателя его применение оправдано, особенно для определения потенциала пространства при проведении анализа энергии ионов. Отличием используемой в предлагаемой методике измерений

потенциала пространства в струе ВЧИД является то, что источник смещения потенциала зонда включен относительно нейтрализатора без разделительного трансформатора, а накал осуществляется переменным током. Это не сильно сказывается на определении потенциала пространства, но существенно упрощает процедуру измерений.

Программный комплекс сбора и анализа зондовых характеристик

Программный комплекс регистрации и обработки зондового сигнала является системой сбора информации с помощью цифрового осциллографа и ее последующей обработки компьютерной программой, написанной в среде разработки LabVIEW. Пример окна программы управления приведен на рисунке 12.

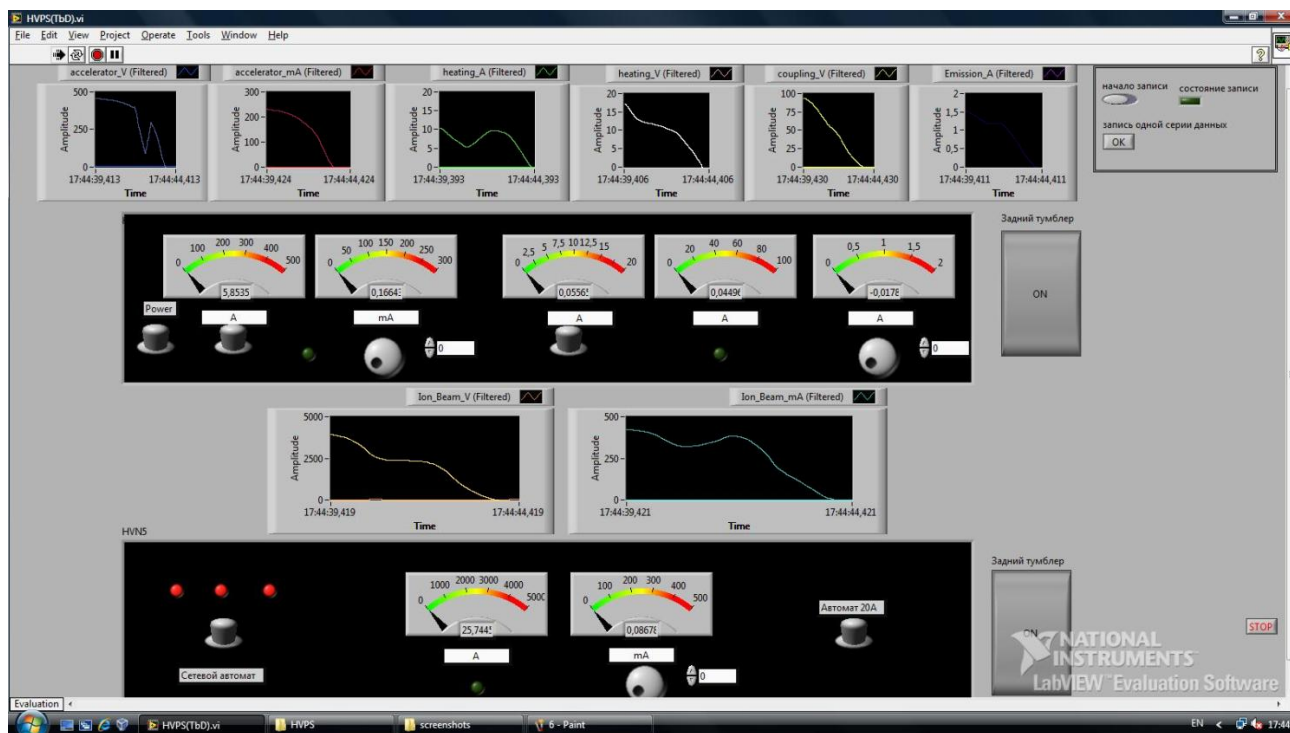


Рисунок 12. Приложение Platar, производящее считывание данных

При исследовании снятых с осциллографа данных в программном комплексе: задается тип зонда, определяется потенциал плазмы (можно по первой или второй производной тока по напряжению), выводятся зондовая характеристика и ее производные. Пример окна программы сбора и обработки экспериментальных данных приведен на рисунке 13.

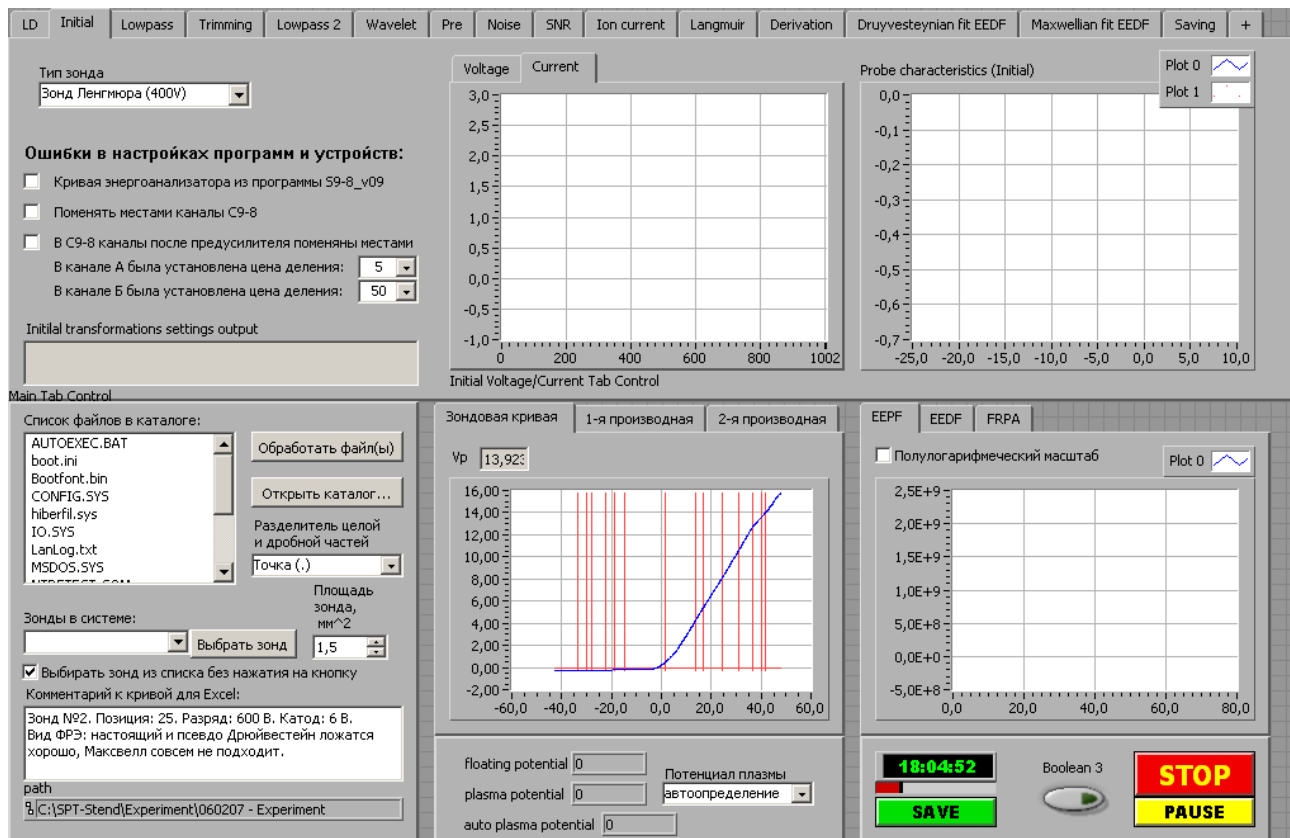


Рисунок 13. Вид окна программы анализа экспериментальных данных

В программе реализована фильтрация входного сигнала зонда. Для фильтрации одиночных выпадающих точек и подавления колебаний большой амплитуды, по сравнению с амплитудой основного фонового шума, ведется предварительная фильтрация сигнала. Для выявления выпадающих точек используются сглаженные значения точек и соответствующие им значения среднего

квадратичного отклонения, определенные отдельно для каждого канала исходной выборки фильтрацией по методу скользящего среднего или полинома.

Для фильтрации основного фонового шума последовательно применяются фильтрация по методу скользящего среднего, сортировка точек выборки по возрастанию, дополнительная фильтрация выпадающих точек (опционально), дополнительная фильтрация по методу скользящего среднего или полинома. В результате чего получается сглаженная зондовая характеристика.

Для анализа характеристик $E \times V$ зонда применяется метод вписанного треугольника, как наиболее простой среди учитывающих уширение максимумов [9]. Треугольник строится графически для каждого из максимумов $V \times X$ $E \times V$ зонда, площадь треугольника приближенно показывает полный собранный ток каждого типа заряженных частиц РТ.

Выводы

В ходе работы была разработана и создана система диагностики параметров выходного пучка ВЧИД, которая позволяет в автоматизированном режиме изучать профиль ионного пучка, находить среднюю энергию ионов, долю двухзарядных ионов РТ, получать потенциал ионного пучка относительно камеры. Эта система позволит в дальнейшем создать математическую модель пространственного распределения пучка ВЧИД в вакуумной камере. При исследованиях управление вакуумным стендом, сбор и обработка первичных экспериментальных данных

производится программно-аппаратным комплексом на основе продуктов фирмы National Instruments.

На данный момент работа над созданием автоматизированной системы диагностики параметров выходного пучка ВЧИД продолжается. Разработанную автоматизированную систему диагностики параметров пучка радиочастотного ионного двигателя будет легко модернизировать для исследований струй других типов электроракетных двигателей.

Работа выполнена при поддержке Гранта Правительства Российской Федерации № 11.G34.31.0022 для государственной поддержки научных исследований, проводимых под руководством ведущих ученых в российских образовательных учреждениях высшего профессионального образования; при государственной поддержке комплексных проектов по созданию высокотехнологичных производств, выполняемых с участием высших учебных заведений по Договору № 02.G25.31.0072.

Библиографический список

1. Капцов Н.А. Электрические явления в газах и вакууме. М.: Гостехиздат, 1950. 836 с.
2. Hofer R.R., Walker M.L.R., Gallimore A.D. A Comparison of Nude and Collimated Faraday Probes for Use with Hall Thrusters / IEPC-2001-020, 27th International Electric Propulsion Conference. Pasadena, CA, USA – October 15-19, 2001. – 17 p.

3. Khartov S.A., Nadiradze A.B., Yakubov A.M., Zikeeva Yu.V. Some remarks about published data concerning the SPT-100 jet parameters distribution / IEPC-97-152, 25th International Electric Propulsion Conference. Cleveland, Ohio, USA – August 24-28, 1997.
4. Absalamov S.K, Andreev V.B., Colbert T., Day M., Egorov V.V., Gnizdor R.U., Kaufman H., Kim V., Koriakin A.I., Kozubskii K.N., Kudravzev S.S., Lebedev U.V., Popov G.A., Zhurin V.V. Measurement of plasma parameters in the stationary plasma thruster (SPT-100) plume and its effects on spacecraft components / AIAA-92-3156, 28th Joint Propulsion Conference and Exhibit. Nashville, TN, USA – July 6-8, 1992. – 10 p.
5. Козлов О.В. Электрический зонд в плазме. М.: Атомиздат, 1969. 293 с.
6. Vahrenkamp R.P. Measurement of Double Charged Ions in The Beam of A 30 cm Mercury Bombardment Thruster / AIAA-73-1057, 10th Electric Propulsion Conference. Lake Tahoe, NV, USA – October 31-November 2, 1973.
7. Loeb H.W., Bischoff H-G., Freisinger J., Groh K., Pinks W., Schafer P., Schmiele R. Recent Tests of the RIT 10-Engine at Giessen University / AIAA-76-1037, 12th International Electric Propulsion Conference. Key Biscayne, Florida, USA, November 14-17, 1976. – 16 p.
8. Kim S.W. Experimental Investigations of Plasma Parameters and Species-Dependent Ion Energy Distribution in the Plasma Exhaust Plume of a Hall Thruster / Ph.D. Dissertation, University of Michigan, 1999. – 220 p.

9. Shastry R., Hofer R.R., Reid B.M., Gallimore A.D. Method for Analyzing ExB Probe Spectra from Hall Thruster Plumes / AIAA 2008-4647, 44th AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference & Exhibit. Hartford, CT, USA, July 21-23, 2008. – 22 p.
10. Hofer R.R., Gallimore A.D. Ion Species Fractions in the Far-Field Plume of a High-Specific Impulse Hall Thruster / AIAA 2003-5001, 39th AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference and Exhibit. Huntsville, Alabama, USA, July 20-23, 2003. – 10 p.
11. Kim S.W., Gallimore A.D. Plume Study of a 1.35-kW SPT-100 Using an ExB Probe / AIAA-99-2423, 35th Joint Propulsion Conference and Exhibit. Los Angeles, California, USA, August 15-19, 1999. – 17 p.
12. Reid B.M., Shastry R., Gallimore A.D., Hofer R.R. Angularly-Resolved ExB Probe Spectra in the Plume of a 6-kW Hall Thruster / AIAA-2008-5287, 44th AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference & Exhibit. Hartford, CT, USA, July 21-23, 2008. – 21 p.